

ISSN 1561-8331 (Print)
ISSN 2524-2342 (Online)

ТЭХНІЧНАЯ ХІМІЯ І ХІМІЧНАЯ ТЭХНАЛОГІЯ
TECHNICAL CHEMISTRY AND CHEMICAL ENGINEERING

УДК 667.63
<https://doi.org/10.29235/1561-8331-2018-54-4-478-486>

Поступила в редакцию 19.12.2017
Received 19.12.2017

В. В. Комарь, Н. В. Кулинич, Н. П. Крутько

Институт общей и неорганической химии Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь

**ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ПОРОШКОВЫХ
ЭПОКСИ-ПОЛИЭФИРНЫХ КРАСОК, СОДЕРЖАЩИХ УСКОРИТЕЛИ ОТВЕРЖДЕНИЯ**

Аннотация. В результате исследования установлен характер влияния ускорителей отверждения (гетероциклический амин и цинксоодержащий ускоритель) на структуру, физико-механические и защитные свойства покрытий на основе порошковых эпокси-полиэфирных композиций. Введение ускорителей в состав композиций влияет на глубину и скорость процесса отверждения пленкообразователей и обеспечивает возможность снижения температуры отверждения. Установлено, что применение гетероциклического аминного ускорителя более эффективно, чем цинксоодержащего ускорителя. Для композиций, содержащих гетероциклический амин, наблюдается снижение времени гелеобразования и повышение комплекса физико-механических и защитных характеристик покрытий, которые оценивались по стойкости покрытий к статическому воздействию 3 %-ного раствора хлорида натрия. Показано, что изменения защитных свойств покрытий в зависимости от состава коррелируют со структурными параметрами полимерной пленки и обусловлены формированием пространственной структуры полимера с различной плотностью поперечных связей. Применение смесей исследованных ускорителей отверждения приводит к росту плотности пространственной сетки полимера, что обеспечивает высокие защитные свойства покрытий к действию агрессивных электролитов за счет снижения проницаемости агрессивных сред в материал покрытий. За 5000 ч испытаний не наблюдается очагов подпленочной коррозии и нарушения сплошности покрытий (пузыри, отслаивание, сморщивание, растрескивание) в сравнении с базовыми составами, не содержащими ускорители.

Ключевые слова: эпокси-полиэфирные порошковые краски, ускорители отверждения, время гелеобразования, тангенс угла диэлектрических потерь, структура, защитные свойства.

Для цитирования. Комарь, В. В. Защитные покрытия на основе порошковых эпокси-полиэфирных красок, содержащих ускорители отверждения / В. В. Комарь, Н. В. Кулинич, Н. П. Крутько // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2018. – Т. 54, № 4. – С. 478–486. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2018-54-4-478-486>

V. V. Komar, N. V. Kulinich, N. P. Krutko

Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

**STRUCTURE AND PROTECTIVE PROPERTIES OF EPOXY-POLYESTER POWDER
COATINGS CONTAINING CURING ACCELERATORS**

Abstract. As a result of the study, the effect of curing accelerators (heterocyclic amine and zinc-containing accelerator) on the structure, physico-mechanical and protective properties of coatings based on powder epoxy-polyester compositions was established. The introduction of accelerators into the compositions affects the depth and speed of the curing process of film formers and provides the possibility to reduce the curing temperature. It has been established that the use of heterocyclic amine accelerator is more effective than a zinc-containing catalyst. For compositions containing heterocyclic amine, a decrease in gel time and an increase in the complex of physico-mechanical and protective characteristics of the coatings are observed, which were evaluated for the resistance of the coatings to the static action of a 3 % solution of sodium chloride. It is shown that changes in the protective properties of coatings, depending on the composition, correlate with the structural parameters of the polymer film and are due to the formation of the spatial structure of the polymer with different cross-link density. The use of mixtures of the investigated curing accelerators leads to an increase in the density of the polymer spatial network. This provides high

protective properties of coatings to the action of aggressive electrolytes by reducing the permeability of corrosive media into the coating material. For 5000 hours of testing there are no pockets of corrosion under a film and no significant disruption of the continuity of the coatings (bubbles, peeling, wrinkling and cracking) in comparison with the basic compositions that do not contain accelerators.

Keywords: Epoxy-polyester powder coatings, curing accelerators, gel time, tangent of the dielectric loss angle, structure, protective properties

For citation. Komar V. V., Kulnich N. V., Krutko N. P. Structure and protective properties epoxy-polyester powder coatings containing curing accelerator. *Vesti Natsyonal' nai akademii navuk Belarusi. Seriya khimichnykh navyk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical series*, 2018, vol. 54, no. 4, pp. 478–486 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2018-54-4-478-486>

Введение. Самым распространенным видом порошковых лакокрасочных материалов (ЛКМ) являются эпокси-полиэфирные (или гибридные) порошковые краски. Эпокси-полиэфирные порошковые краски получают на основе смеси пленкообразователей: эпоксидных и высокомолекулярных полиэфирных смол, содержащих свободные концевые карбоксильные группы, обеспечивающие образование пространственной сетки при взаимодействии с эпоксидными группами. Отверждение протекает в основном при температуре 180 °С. Массовое соотношение эпоксидной и полиэфирной смол может изменяться от 60:40 до 10:90. Точное соотношение определяется исходя из конкретной области применения покрытий. В сравнении с покрытиями на основе эпоксидных порошковых красок, эпокси-полиэфирные покрытия стойки к перегреву при отверждении и имеют более высокую атмосферостойкость (обладают меньшей тенденцией к мелению и более высокой устойчивостью к пожелтению). Основным недостатком покрытий на основе эпокси-полиэфирных красок в сравнении с эпоксидными – это более низкая стойкость к воздействию растворителей и низкие антикоррозионные свойства.

Для ускорения и снижения температуры отверждения эпокси-полиэфирных красок используют либо высокорекреакционные полиэфирные, либо ускорители отверждения (соединения цинка, третичные амины, фосфаты и фосфиты и др.) [1].

Цель данной работы – исследование условий формирования, структуры и свойств покрытий на основе эпокси-полиэфирных композиций, содержащих ускорители отверждения.

Материалы и методы испытаний. Для исследования использовали эпокси-полиэфирные композиции при соотношении эпоксидного олигомера (ЭО) к полиэфирной смоле 30:70. Композиции получали методом экструзионного смешения компонентов в расплаве с использованием двухшнекового экструдера. В качестве пленкообразующих использовали бинарные смеси эпоксидного олигомера и насыщенного полиэфира с концевыми карбоксильными группами с различной температурой стеклования (T_g). Характеристики используемых пленкообразователей представлены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики бинарных смесей эпоксидного олигомера и полиэфирного насыщенного полиэфира

Table 1. Characteristics of binary mixtures of epoxy oligomer and polyester saturated polyester

Образец	Эпоксидный олигомер			Карбоксилсодержащий насыщенный полиэфир		
	марка	эпоксидный эквивалентный вес, г/экв	температура стеклования, °С	марка	кислотное число, мг КОН/г	температура стеклования, °С
1, 2, 5, 7	D.E.R. 663 UE	740–800	51	Crylcoat 1771–3	30–36	56
6	Eposir 7168 PG	650–720	49	Sirales PE 8421	32–40	54
3, 4	Eposir 7168 PG	650–720	49	Sirales PE 8440	32–40	65

В качестве наполнителя в составе композиций использовали смесь диоксида титана и синтетического микробарита (бланфикса), в качестве ускорителей процесса отверждения – цинксодержащий ускоритель (К1) и аминный гетероциклический ускоритель (К2), содержащий подвижный атом водорода, применение которого, как было показано ранее [2], позволяет снизить температуру отверждения порошковых полиэфирных красок на 20 °С.

Время гелеобразования измеряли на приборе гель-тестер GT 16 по стандарту ГОСТ ИСО 8130.6 [3], твердость покрытий по Бухгольцу на приборе Elcometer 3095 – ГОСТ 22233 [4], прочность при ударе на приборе У-2М – ГОСТ 4765 [5], прочность покрытий при растяжении на приборе

Elcometer – ГОСТ 29309 [6], адгезию методом решетчатых надрезов – ГОСТ 15140 [7]. Оценку защитных свойств покрытий проводили весовым методом при погружении покрытий в раствор хлорида натрия. Оценку внешнего вида покрытий после испытаний проводили по ГОСТу 9.407 [8]. Коэффициент сорбции хлорида натрия рассчитывали по ГОСТу 12020 [9]. Тангенс угла диэлектрических потерь покрытий определяли по ГОСТу 22372 [10].

Результаты и их обсуждение. Для исследования использовали порошковые эпокси-полиэфирные композиции со средним размером частиц $d_{50} = 40$ мкм. Мелкая фракция (до 10 мкм) не превышала 5–6 %.

Эффективность действия ускорителей оценивали по времени гелеобразования порошковых композиций и изменению физико-механических свойств покрытий, отвержденных при различных температурах (табл. 2.). Как следует из данных табл. 2., с увеличением температуры отверждения наблюдается уменьшение времени гелеобразования. Введение ускорителей также приводит к снижению времени гелеобразования в сопоставлении с базовыми составами красок, причем в большей мере это наблюдается для композиций, содержащих гетероциклический аминный ускоритель К2 (образцы 2, 4). Время гелеобразования для порошковых композиций на основе насыщенных полиэфиров с более высокой температурой стеклования $T_g = 65$ °С (образцы 3, 4) ниже, чем для композиций на основе полиэфира с $T_g = 56$ °С (образцы 1, 2). Из сопоставления физико-механических показателей покрытий на основе образцов 1, 2 и 3, 4 следует, что введение К2 в состав композиций приводит к повышению прочности на удар при отверждении покрытий при более низкой температуре (170 °С).

Таблица 2. Влияние ускорителей на технологические свойства порошковых композиций и физико-механические свойства покрытий, отвержденных при различных температурах

Table 2. Influence of curing accelerators on technological properties of powder compositions and physical and mechanical properties of coatings cured at different temperatures

Номер образцов	Температура, °С	1	2	3	4	5	6	7
Тип /содержание катализатора, мас. %	–	0	К2/0,6	0	К2/0,6	К1/3,0	К1+К2/3,0+1,2	К1+К2/3,0+1,2
Время гелеобразования,	160	470	370	408	–	370	405	360
	170	440	320	382	315	305	330	280
	180	335	235	315	215	220	205	195
Прочность при ударе, см	160	50	60	50	60	70	40	40
	170	90	100	100	110	100	50	50
	180	100	110	120	120	100	60	70
Прочность при растяжении, мм	160	–	–	–	–	–	–	5,1
	170	11	12	13,2	13,8	6,1	5,14	5,5
	180	11,2	13	13,4	14	8,2	6,0	7,0
Прочность при изгибе, мм	180	1	1	1	1	1	3	3
Твердость по Бухгольцу, усл. ед.	160	–	–	–	–	100	100	–
	170	91	95	100	100	105	105	95
	180	95	100	100	100	111	105	105
Адгезия, балл	–	1	1	1	1	1	1	1

Следует отметить, что использование смесей ускорителей К1 и К2 (образцы 6, 7) приводит к снижению прочности покрытий на удар и прочности при растяжении, что, возможно, связано с формированием достаточно жесткой сетчатой структуры полимера, обусловленной высокой концентрацией К2. При снижении концентрации К2 прочностные показатели увеличиваются. Из сопоставления физико-механических показателей покрытий, отвержденных при различных температурах, можно сделать вывод, что введение ускорителей в состав композиций позволяет снизить температуру отверждения до 170 °С.

Как известно [11–13], тангенс угла диэлектрических потерь является чувствительным параметром, характеризующим процесс отверждения полимерных композиционных материалов. Резкое увеличение $\text{tg } \delta$ на кривых $\text{tg } \delta = f(T)$ с повышением температуры обусловлено размяг-

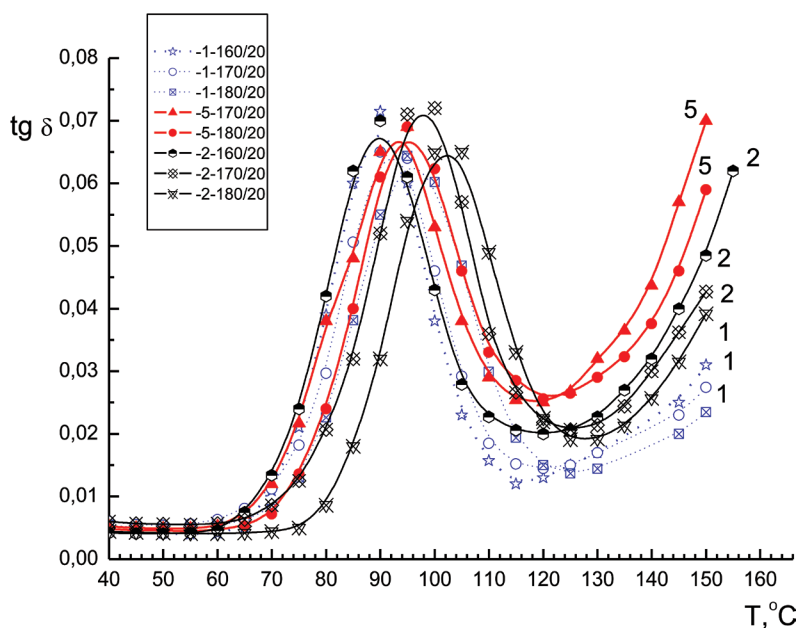


Рис. 1. Температурные зависимости тангенса угла диэлектрических потерь покрытий на основе базового состава (1), содержащих ускорители K1 (5) и K2 (2). Номера образцов соответствуют номерам табл. 1, 2. Температура и время отверждения указаны в обозначениях к кривым

Fig. 1. Temperature dependences of the tangent of the dielectric loss angle of coatings based on the base composition (1) containing K1 (5) and K2 (2) accelerators. The sample numbers correspond to the numbers of tables 1, 2. The temperature and time of curing are indicated in the designations of the curves

чением покрытий, сдвиг кривых $\text{tg } \delta = f(T)$ в сторону больших температур свидетельствует о более высокой термостойкости покрытий и соответственно о более высокой плотности сшивки сетчатой структуры полимера. Авторы работы [11] указывают на хорошую корреляцию между температурами размягчения T_p , определенным по кривым $\text{tg } \delta = f(T)$ и термомеханическим кривым.

Для оценки структуры отвержденных покрытий были измерены температурные зависимости тангенса угла диэлектрических потерь ($\text{tg } \delta$). Характеристикой термостойкости материала служила температура размягчения (стеклования), которую определяли в точке пересечения касательных, проведенных к кривой температурной зависимости на втором участке подъема величины $\text{tg } \delta$ на кривых $\text{tg } \delta = f(T)$

На рис. 1 представлены температурные зависимости тангенса угла диэлектрических потерь покрытий, отвержденных при различных температурах, для базового состава, не содержащего ускорителей (кривые 1) и покрытий, содержащих ускорители K2 (кривые 2) и K1 (кривые 5). В качестве пленкообразователей использовали эпоксидный олигомер D.E.R. 663 UE и карбоксилсодержащий насыщенный полиэфир Crylcoat 1771–3 (табл. 1). Следует отметить, что на кривых $\text{tg } \delta = f(T)$ наблюдаются максимумы в низкотемпературной области 60–90 °С, которые, согласно [14], можно отнести к подвижности больших кинетических агрегатов – узлов физической сетки. При введении в состав композиций ускорителей K1 и K2 наблюдается сдвиг кривых в сторону более высоких температур, что свидетельствует о более высокой термостойкости покрытий и соответственно о более высокой плотности сшивки сетчатой структуры полимера в сравнении с базовыми составами. Из сопоставления температур размягчения (T_p), определенных по данным рис. 1, следует, что применение гетероциклического аминного ускорителя K2 более эффективно, чем цинксодержащего ускорителя K1. Покрытия, содержащие K2, имеют более высокую термостойкость и соответственно более высокую плотность поперечных связей сетчатой структуры полимера, чем покрытия, содержащие K1 (табл. 3). При этом для образцов, содержащих K2, величина T_p , соответствующая T_p для базового образца № 1, отвержденного при 180 °С, достигается при меньшей температуре отверждения (160 °С).

Таблица 3. Влияние ускорителей на температуру размягчения покрытий

Table 3. Effect of accelerators on the softening temperature of coatings

Образец	Термовременные режимы отверждения, °С/мин		
	160/20	170/20	180/20
1	120	122	127
2	128	132	134
5	–	124	129
7	128	134	138

Примечание. Номера образцов соответствуют номерам табл.1 и 2.

В случае применения смеси ускорителей при отверждении покрытий в интервале температур 170–180 °С также наблюдается увеличение температур размягчения покрытий, а также сдвиг максимумов в низкотемпературной области от 94 °С (кривые 1–180/20 и 7–160/20) до 106 °С (кривые 7–170/20, 7–180/20), что, согласно [15], свидетельствует о росте плотности сетчатой структуры полимера и средней молярной массы цепей между узлами сетки (рис. 2, а, табл. 3).

На рис. 2, б представлены температурные зависимости тангенса угла диэлектрических потерь покрытий, отличающиеся от вышерассмотренных, молекулярными характеристиками используемых пленкообразователей. В качестве пленкообразователей (табл. 1) использовали эпоксидный олигомер Eposir 7168 PG и карбоксилсодержащие насыщенные полиэфиры Sirales PE 8440 ($T_g = 65$ °С) и Sirales PE 8421 ($T_g = 56$ °С). Как видно из данных рис. 2, б, в случае применения полиэфира с более высокой молекулярной массой ($T_g = 65$ °С), введение ускорителя К2 (кривые 4) практически не влияет на теплостойкость покрытий в сравнении с базовым составом (кривые 3), не содержащим К2. При равных термовременных режимах отверждения не наблюдается изменения T_p для образцов 3 и 4, что, по-видимому, обусловлено полным отверждением покрытий в данных условиях. При использовании полиэфира с более низкой температурой стеклования ($T_g = 56$ °С) наблюдается уменьшение относительной теплостойкости покрытий (кривые 6), что свидетельствует о формировании структуры полимера с меньшей плотностью поперечных связей.

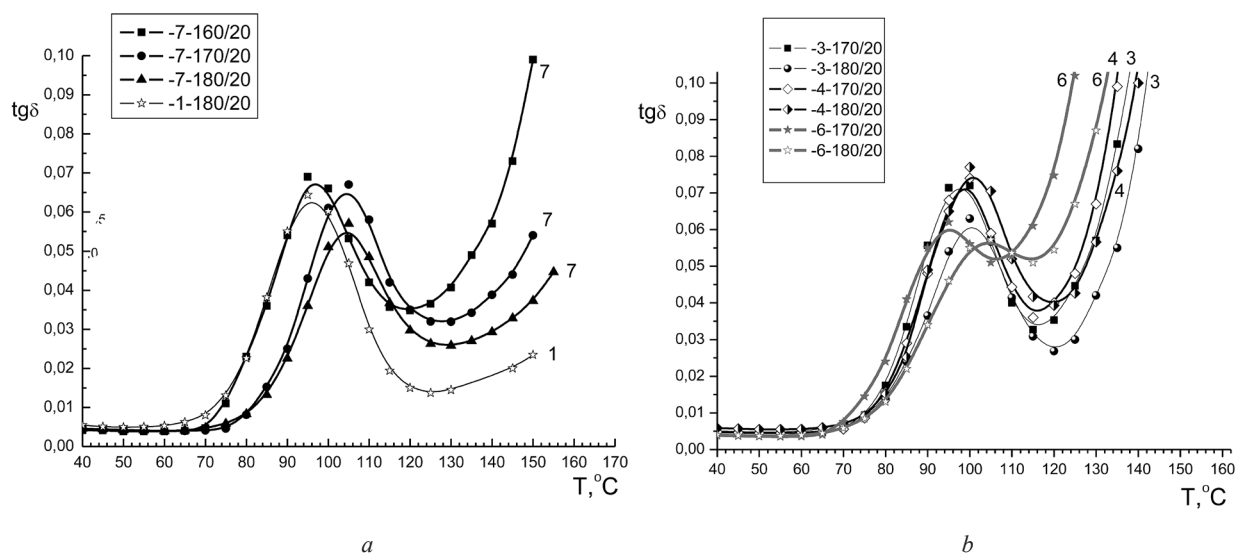


Рис. 2. Влияние смеси ускорителей (а) и температуры стеклования полиэфира (б) на температурные зависимости тангенса угла диэлектрических потерь. Номера образцов соответствуют номерам табл. 1, 2. Температура и время отверждения указаны в обозначениях к кривым

Fig. 2. Influence of the accelerator mixture (a) and the glass transition temperature of the polyester (b) on the temperature dependences of the dielectric loss tangent. The sample numbers correspond to the numbers of tables 1, 2

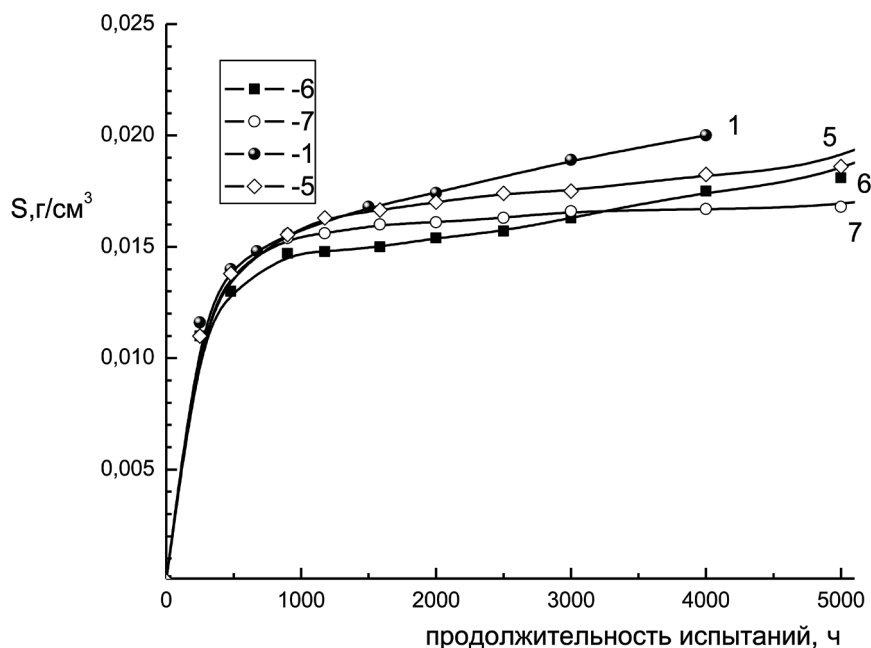


Рис. 3. Зависимость коэффициента сорбции 3 %-ного раствора хлорида натрия (S) от продолжительности испытаний. Номера образцов соответствуют номерам табл. 1, 2

Fig. 3. Sorption coefficient of a 3 % solution of sodium chloride (S) versus test duration. The sample numbers correspond to the numbers of tables 1, 2

Для оценки защитных свойств покрытий исследована стойкость покрытий, содержащих ускорители отверждения, к действию 3 %-ного раствора хлорида натрия. На рис. 3 представлено изменение коэффициента сорбции S от длительности испытаний. Как следует из данных рис. 3, до 2000 ч экспозиции покрытий в растворе хлорида натрия величина S для всех покрытий практически одинакова. С ростом длительности испытаний (после достижения равновесных значений сорбции) для образцов 1, 5, 6 наблюдается монотонное увеличение коэффициента сорбции хлорида натрия. Это, возможно, связано с протеканием в покрытиях изменений, обусловленных формированием полимолекулярных слоев сорбированной воды и соли в структуре полимерной пленки [16]. Для покрытий на основе базового состава, не содержащих ускоритель, наблюдается более высокий рост коэффициента сорбции хлорида натрия, чем для покрытий, содержащих ускорители. Наблюдаемые изменения диффузионных свойств коррелируют с рассмотренными выше данными по изучению структуры покрытий, и обусловлены формированием пространственной структуры полимера с различной частотой поперечных связей. Покрытия, структура которых характеризуется более высокой плотностью поперечных связей (рис. 2, а, кривая 7) имеют более высокие барьерные свойства: коэффициент сорбции раствора хлорида натрия практически не изменяется от 1000 до 5000 ч испытаний. С увеличением длительности испытаний наблюдается нарушение целостности покрытий за счет незначительного образования пузырей, в большей мере для образцов, не содержащих ускорителей отверждения. Возникновение пузырей обусловлено как ослаблением прочности адгезионных связей на поверхности границы раздела (металл – покрытие) за счет внедрения молекул раствора на границу раздела, так различной активностью паров по обе стороны покрытия, а также наличием на границе раздела осмотически активных водорастворимых веществ. Несмотря на наличие пузырей, для всех образцов на поверхности металла после удаления покрытий не наблюдалось следов подпленочной коррозии. Результаты оценки защитных свойств покрытий, согласно [8], приведены в табл. 4. На основе сопоставления физико-механических характеристик покрытий можно отметить, что за 5000 ч испытаний в растворе хлорида натрия наблюдается достаточно высокая сохранность прочностных характеристик и адгезии.

Т а б л и ц а 4. Оценка защитных свойств покрытий после испытаний в 3 %-ном растворе хлорида натрия

Table 4. Evaluation of the protective properties of coatings after testing in 3 % solution of sodium chloride

Номера образцов	1	2	3	5	6	7
Тип/содержание катализатора, мас. %	0	K2/0,6	0	K1/3,0	K1+K2/ 3,0+1,2	K1+K2/ 3,0+1,2
Толщина покрытия, мкм	105	107	95	90	100	100
Площадь разрушения, % / Оценка защитных свойств покрытий						
2000 ч	0,11/П1(S4)	0/П0	0/П0	0/П0	0/П0	0/П0
3000 ч	0,11/П1(S4)	0/П0	0,09/П1(S4)	0/П0	0/П0	0/П0
5000 ч	0,15/П1(S4),	0,05/П1(S4)	0,5/П1(S4)	0,2/П1(S4)	0/П0	0/П0
Прочность на удар*, см	100/40	100/70	100/70	100/50	60/40	70/40
Прочность при растяжении по Эриксену*, мм	11,2/4,6	13/7,2	13,4/7,2	8,2/7,0	6,0/5,0	7,0/5,0
Твердость по Бухгольцу,* услед.	95//77	100/100	100/95	111/105	105/100	105/100
Адгезия,* балл	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1

П р и м е ч а н и е. *В числителе указаны показатели до испытаний, в знаменателе после испытаний.

Заключение. В интервале температур 160–180 °С исследован процесс отверждения эпокси-полиэфирных порошковых композиций, содержащих ускорители отверждения. В результате исследования установлено влияние типа ускорителя и молекулярных характеристик используемых пленкообразователей на структуру, температуру стеклования отвержденных покрытий, скорость процесса отверждения, физико-механические и защитные свойства покрытий. Применение в бинарной смеси пленкообразователей эпоксидного олигомера и полиэфира с более низкой молекулярной массой приводит к формированию структуры полимера с меньшей плотностью поперечных связей. Показано, что введение ускорителей в состав композиций обеспечивает возможность снижения температуры отверждения (в сравнении с базовыми составами) до 170 °С. Установлено, что применение гетероциклического аминного ускорителя K2 более эффективно, чем цинксодержащего ускорителя K1: для композиций, содержащих гетероциклический амин K2, наблюдается снижение времени гелеобразования и повышение физико-механических характеристик покрытий. Покрытия на основе порошковых композиций, содержащих ускоритель K2, имеют более высокую теплостойкость и соответственно более высокую плотность поперечных связей сетчатой структуры полимера, чем покрытия, содержащие K1. Применение смесей исследованных ускорителей приводит к росту частоты пространственной сетки полимера, что обеспечивает высокие защитные свойства покрытий к действию агрессивных электролитов за счет снижения проницаемости агрессивных сред в материал покрытий.

Список использованных источников

1. Яковлев, А. Д. Порошковые краски / А. Д. Яковлев. – Л.: Химия, 1978. – 216 с.
2. Влияние ускорителя на структуру и свойства антикоррозионных покрытий на основе порошковых полиэфирных красок / В. В. Комарь [и др.] // Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии: материалы X Междунар. науч.-техн. конф., Гродно, 15–16 окт. 2013г. – Минск: Беларус. навука, 2014. – С. 165–171.
3. ГОСТ ИСО 8130.6-2002. Краски порошковые. Определение времени желатинизации термореактивных порошковых красок при заданной температуре. Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2003. – 3 с.
4. ГОСТ 22233-2001. Профили прессованные из алюминиевых сплавов для светопрозрачных ограждающих конструкций: техн. условия. – Минск: Минсктиппроект, 2004. – 26 с. – (Межгосударственный стандарт).

5. ГОСТ 4765-73. Материалы лакокрасочные. Метод определения прочности при ударе. – М.: Изд-во стандартов, 1994. – 8 с.
6. ГОСТ 29309-92. Покрyтия лакокрасочные. Определение прочности при растяжении. – М.: ИПК изд-во стандартов, 2004. – 8 с.
7. ГОСТ 15140-78. Материалы лакокрасочные. Методы определения адгезии. – М.: Стандартиформ, 2009. – 12 с.
8. ГОСТ 9.407-2015. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрyтия лакокрасочные. Метод оценки внешнего вида. – Минск: Госстандарт, 2016. – 39 с.
9. ГОСТ 12020-72. Пластмассы. Методы определения стойкости к действию химических сред. – М.: ИПК изд-во стандартов, 1997. – 24 с.
10. ГОСТ 22372-77. Материалы диэлектрические. Методы определения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь в диапазоне частот от 100 до 5×10 в ст. 6 Гц. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1977. – 28 с.
11. Диэлектрические свойства эпоксидных компаундов / С. Н. Антонов [и др.] // Пластические массы. – 1967. – № 2 – С. 37–38.
12. Касатонов, И. С. Метод контроля процесса отверждения полимерных композитов по диэлектрическим характеристикам / И. С. Касатонов // Вопросы современной науки и практики. – 2012. – № 1. – С. 353–357.
13. Влияние наполнения на диэлектрические и деформационные свойства эпоксидных покрытий / Ф. М. Смехов [и др.] // Лакокрасочные материалы и их применение. – 1973. – № 6. – С. 31–33.
14. Чернин, И. З. Эпоксидные полимеры и композиции / И. З. Чернин, Ф. М. Смехов, Ю. В. Жердев. – М.: Химия, 1982. – 232 с.
15. Фабуляк, Ф. Г. Исследование молекулярной подвижности в поверхностных слоях полиуретанов / Ф. Г. Фабуляк, Ю. С. Липатов // Высокомолекулярное соед. Сер. А. – 1970. – Т. 12, № 4. – С. 738–741.
16. Манин, В. Н. Физико-химическая стойкость полимерных материалов в условиях эксплуатации / В. Н. Манин, А. Н. Громов. – Л.: Химия, 1980. – 248 с.

References

1. Yakovlev A. D. *Powder paints*. Leningrad, Chemistry Publ., 1978. 216 p. (in Russian).
2. Komar V. V., Pohodina T. A., Ovseyenko L. V. Influence of the accelerator on the structure and properties of anticorrosive coatings based on polyester powder paints. *Energo- i materialosberegayushchie ekologicheski chistyie tekhnologii: materialy X Mezhdunar. nauch.- tekhn. konf., Grodno, 15–16 okt. 2013g.* [Energy and material-saving environmentally friendly technologies: materials X International Scientific and Technical Conference, Grodno, October 15–16, 2013]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ, 2014, pp. 165–171 (in Russian).
3. State Standard ISO 8130.6-2002. *Powder paints. Determination of jellification time of thermosetting powder paints at a given temperature*. Minsk, Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification, 2003. 3 p. (in Russian).
4. State Standard 22233-2001. *Alluminium alloy extruded sections for translucent envelopes. General specifications*. Minsk, Minsktiproekt Publ., 2004. 26 p. (in Russian).
5. State Standard 4765-73. *Paint and lacquer materials. Method for determination of impact resistance*. Moscow, Standards publishing house, 1994. 8 (in Russian).
6. State Standard 29309-92. *Paint coatings. Determination of tensile strength*. Moscow, Standards publishing house, 2004. 8 p. (in Russian).
7. State Standard 15140-78. *Paintwork materials. Methods for determination of adhesion*. Moscow, Standartinform Publ., 2009. 12 p. (in Russian).
8. State Standard 9.407-2015. *Unified system of corrosion and ageing protection. Paint coatings. Method of appearance rating*. Minsk, Gosstandart Publ., 2016. (in Russian).
9. State Standard 12020-72. *Plastics. Testing methods of plastics resistance to chemical substances*. Moscow, Publishing house of standards, 1997. 24 p. (in Russian).
10. State Standard 22372-77. *Dielectric materials. Methods of determination of permittivity and power factor within a frequency range of 100 to 5×10 in 6 Hz*. Moscow, State committee of the USSR on standards, 1977. 28 p. (in Russian).
11. Antonov S. N., Gurman I. M., Kovrgina V. V., Dielectric properties of epoxy compounds. *Plasticheskie massy* [Plastic materials], 1967, no. 2, pp. 37–38 (in Russian).
12. Kasatonov I. S. Method for controlling the curing process of polymer composites based on dielectric characteristics. *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki = Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University*, 2012, no. 1, pp. 353–357 (in Russian).
13. Smehov F. M. Influence of filling on the dielectric and deformation properties of epoxy coatings. *Lakokrasochnie materialy I ikh primenenie = The Russian Coatings Journal*, 1973, no. 6, pp. 31–33 (in Russian).
14. Chernin I. Z., Smehov F. M., Zherdev Yu. V. *Epoxy polymers and compositions*. Moscow, Chemistry Publ., 1982. 232 p. (in Russian).
15. Fabulyak F. G., Lipatov Yu. S. Investigation of molecular mobility in surface layers of polyurethanes. *Vysokomolekulyarnyye soyedineniya. Seriya A = Polymer Science. Series A*, 1970, vol. 12, no. 4, pp.738–741 (in Russian).
16. Manin V. N., Gromov A. N. Physicochemical resistance of polymer materials under operating conditions. Leningrad, Chemistry Publ., 1980. 248 p. (in Russian).

Информация об авторах

Комарь Валентина Васильевна – канд. хим. наук, вед. науч. сотрудник, Институт общей и неорганической химии, Национальная академия наук Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: kvv@igic.bas-net.by

Кулинич Наталья Владимировна – науч. сотрудник, Институт общей и неорганической химии, Национальная академия наук Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь).

Крутько Николай Павлович – академик, д-р хим. наук, зав. отделом, Институт общей и неорганической химии, Национальная академия наук Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: krutko@igic.bas-net.by

Information about the authors

Valentina V. Komar – Ph. D. (Chemistry), Leading Researcher, Institute of General and Inorganic Chemistry, National Academy of Sciences of Belarus (9/1, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kvv@igic.bas-net.by

Natallia V. Kulnich – Researcher, Institute of General and Inorganic Chemistry, National Academy of Sciences of Belarus (9/1, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus).

Nikolai P. Krutko – Academician, D. Sc. (Chemistry), Head of the Department, Institute of General and Inorganic Chemistry, National Academy of Sciences of Belarus (9/1, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: krutko@igic.bas-net.by